

海南石梅湾青皮林 LAI 的冠层数字成像间接法测算^{*}

颜文洪, 胡玉佳

(中山大学生命科学院, 广东 广州 510275)

摘要: 对基于林隙比 (gap-fraction) 原理的 LAI 数字成像间接法进行了系统的描述, 通过对石梅湾青皮林及其周围其它不同类型的次生林和人工群落共 9 个观测点的测定, 得出了相应群落的叶面积指数、消光系数、辐射透过系数等冠层的特征指标, 按垂直结构测算了不同阶段的青皮林 LAI 特性, 指出了 CI110 冠层数字成像仪 (Digital Plant Canopy Imager CI110) 减小人为误差的方法。处于顶极状态的青皮林的叶面积指数为 3.554, 低于典型结构的热带雨林, 探讨了石梅湾青皮林 LAI 比混合雨林和山地雨林 LAI 小的原因。

关键词: LAI (leaf area index, 叶面积指数); 青皮林; 冠层数字成像; 石梅湾

中图分类号: Q948.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 03-0071-04

叶面积指数 (LAI) 1947 年由 Watson 定义为“每单位陆地面积上的叶面积”。LAI 对植物许多重要的生理生态过程, 包括总光合效率、蒸腾以及 PAR 通过冠层的穿透, 是非常重要的^[1]。对叶面积的测算有两种方法: 直接法和间接法。直接法就是通过获取所有的叶片进行测量或进行面积——重量比来获得结果^[2], 直接法虽然原理方法简单, 但需大量人力、对植物往往造成破坏、费时, 而且需要重复工作来减少取样误差。间接法是对植物不造成伤害的测量方法, 1959 年 Warren、Wilson 和 Reeve 通过测试叶片的接触频率来测算 LAI^[3]; 1972 年 Bonhomme 和 Charter 首创通过光照穿透冠层比例的方法推算叶面积指数, 其理论基础是: 冠层内外的光照辐射, 与冠层叶片叠加状况及光照因子具有定量的拟合关系; 之后, 通过软件与计算机接口对 LAI 在野外直接测算的技术日益成熟, 经过测试, 除了针叶林, 此法用在多种植被类型上能反映真实情况。由于顶极状态的热带雨林树木高大、结构复杂, LAI 测算的直接法没有可操作性, 本文拟通过冠层数字成像技术的间接法测算海南石梅湾青皮林 LAI。

1 研究地与样地

1.1 研究地概况

石梅湾位于海南岛的东南海岸带, 属于三亚市, 1980 年此地设立青皮林自然保护区 (省级), 材质优良、坚硬耐腐。保护区中心位置为东经 110°

09′、北纬 18°11′, 整个青皮林呈条带状, 离海岸潮汐线约 50 m, 青皮林海拔高度 6~12 m, 总面积 950 hm², 其中核心区 319 hm²。与山地雨林不同, 石梅湾青皮林是热带雨林单优林, 处于原始状态的面积超过 67 hm², 石梅湾青皮林呈典型的“土壤顶极 (edaphic climax)”^[4-7], 也是海南热带雨林独特的植物群落之一。

石梅湾地处热带北沿, 属热带海洋性季风气候, 终年高温, 无寒潮与霜冻, 年均气温 24.5℃, 光照率 50%, 约 2 230 h, 多年年均降水 2 032 mm, 雨量集中在 5—10 月, 占全年降水的 89%; 沿海滩分布的是晚期海相新砂堤沉积及近代海滩沉积, 岩性为浅黄色、灰白色中粗砂, 厚 1.5~8 m, 水位埋深 2~5 m。

1.2 样地的设置

样地要求均质、具有连续性, 尽量避免针叶林, 选取 9 个观测点: 3 个单优人工林群落, 分别是椰子 *Cocos nucifera* 群落、槟榔 *Areca catechu* 群落、芒果 *Mangifera indica* 群落, 6 个自然林群落, 分别是海滨灌木丛、冠高 3 m 次生青皮林、冠高 6 m 次生青皮林、冠高 9 m 次生青皮林、顶极青皮林乔木层、顶极青皮林 (顶极青皮林林内灌层、乔木层明显, 并分布均匀, 所以在地面和 1.5 m 高处各设一观测点), 每个点采集数字图象 3 次; 灌木丛特征植物有海芒果 *Cerbera manghas*、许树 *Clerodendrum ineme*, 青皮林特征植物有青皮 *Vatica hainanensis*、柄果木 *Mischocarpus sundaicus*、九节 *Psychotria*

* 收稿日期: 2003-07-15

基金项目: 香港华润科技研究基金资助项目 (0258)

作者简介: 颜文洪 (1966 年生), 男, 博士生, 高级工程师; 通讯联系人, 胡玉佳; E-mail: jslb02@zsu.edu.cn

rubra、沙拉木 *Salacia grandiflora*、山石榴 *Randia spinosa*、大叶紫玉盘 *Uvaria grandiflora* 等。

2 原理与方法

2.1 林内辐射与消光系数、LAI

林冠层对光照辐射的截获是了解植被生长和生产能力的 关键因素, 根据 Beer 法则, 林内处于 i 层的光照辐射强度 I_i 与叶面积指数的关系如下^[8]:

$$I_i = I_0 \exp(-kL_i) \tag{1}$$

k 为消光系数、 L_i 为叶面积指数 (LAI)、 I_0 为冠层外的辐射强度; 植被冠层的消光系数和 LAI 控制了光照的衰减程度, 消光系数可通过对叶片角度分布的测定来进行测算, 如果直接对叶片测量非常费时, 可以通过对球面、圆柱或圆锥面的叶片分布进行计算^[9], Campbell 在 1986 年提出了一个基于圆球倾角分布的通用公式^[10]。

2.2 林隙比 (gap fraction) 与冠层结构

其关系最早于 1953 年由 Monsi Wilson 提出。林隙比 P 与冠层叶片的天顶角 θ 和方位角关系 r 为:

$$P = \exp(-k_{\theta,L} \cos \theta) \tag{2}$$

消光系数 k 与叶片在空间的排列位置相关, 如果冠层叶片的排列是随机的, 那么林隙的状况符合大样品小概率事件, 可以满足泊松 (Poisson) 分布, k 的计算可以通过相应的公式求得。

2.3 转换

当天顶角 θ_i 一定时, 光照辐射透过比例 P_i 与叶面积指数、消光系数有如下关系^[8-11]:

$$-\ln P_i = \sum_{j=1}^N f_{k_{ij}} \tag{3}$$

$$L = \sum_{j=1}^N f_i \tag{4}$$

公式中的 L 为冠层叶面积指数, f_i 为 j 级叶倾角的叶面积指数, N 为叶倾角所分成的级数, k_{ij} 为在此一定的天顶角 θ_i 时、叶倾角为 j 时的消光系数。

在 j 叶片级, 消光系数 k_{ij} 与天顶角 θ_i 和平均叶倾角 α_j 有如下关系:

$$k_{ij} = \cos \alpha_j \quad (\theta_i \leq 90 - \alpha_j)$$

$$k_{ij} = \cos \alpha_j \frac{1 + 2(\tan y - y)}{p} \quad (\theta_i > 90 - \alpha_j)$$
 (5)

其中, $y = \cos^{-1}(\cot \alpha_j \cot \theta_i)$

2.4 CH10 及其使用方法

本文野外测定采用 CID 公司 CH10 数字冠层图象分析仪, 由鱼眼图象获取装置、便携式电脑和冠层分析软件组成。软件对获取的图象进行数字化处

理, 包括天空比例、直射辐射透过系数、散射辐射透过系数。

使用者根据天顶角和方位角的设定来确定所要观测的空间范围, 在平面方向上方位角可取值 $0 \sim 360^\circ$, 垂直方向从与地面垂直向平面方向可取值 $0 \sim 90^\circ$, 这样将整个图形分为多个小区 (见图 1); 在计算时, 根据实际情况和需要可以选择不同的扇区和网格, 然后软件依据林隙比转换模式记数所选区域可见天空像素, 根据相关矩阵变换, 最后计算的数据包括叶面积指数、叶片分布、平均叶倾角、消光系数、辐射透过系数。

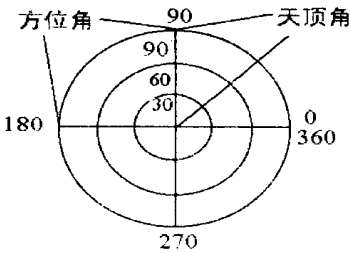


图 1 分析鱼眼图像的网格分区

Fig 1 Grids and sectors for analyzing fish-eye images

3 结果与分析

3.1 数字图像

获取数字图像是重要的基础, 要选择典型群落, 并力求冠层各组分的均匀性, 以保证程序计算的准确性, 图像的获取来自鱼眼探头的半球范围, 以下是各群落观测点的有代表性的数字图像 (图 2 (a) - (i))。从数字冠层图来看, 海滨灌木丛的图像中有一块空白, 主要是因为此自然群落植株种类和叶片分布的不均匀形成的, 槟榔群落、椰子群落图像的不规则大块状可见天空部分的形成是由于人工单优林、密度人为控制的原因。

3.2 LAI 与相关指数

表 1 为计算得出的各有关指数, 结果显示: LAI 最小的是槟榔林 1.664, 其次为海滨灌木群落 1.808, 另两个人工群落椰子林和芒果林 LAI 分别为 2.081、2.233; 顶极青皮林 LAI 最高, 为 3.554, 其中乔木层 3.261、灌木层 0.293, 3 m、6 m、9 m 高青皮林的 LAI 分别是 2.073、2.743、3.177, 青皮林在发育过程中, LAI 与树林的高度呈正相关、但不存在线性关系。

4 讨论

热带雨林海南万宁青皮林的 LAI 为 3.554, 与 Barbour 提出的热带雨林 LAI 的值 $11 \sim 12$ ^[12] 相差悬

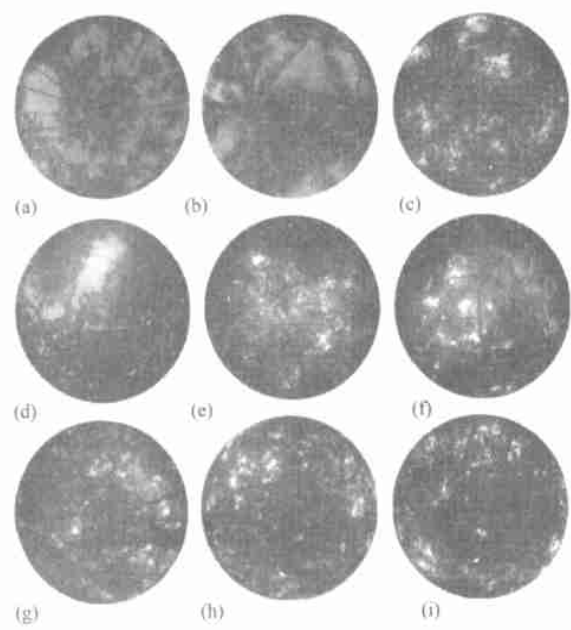


图 2 各群落数字冠层

Fig. 2 Digital canopy image of various communities
(a) 槟榔; (b) 椰子; (c) 芒果; (d) 海滨灌木丛;
(e) 冠高 3 m 次生青皮林; (f) 冠高 6 m 次生青皮林;
(g) 冠高 9 m 次生青皮林; (h) 顶极青皮林乔木层;
(i) 顶极青皮林

殊，主要原因是：青皮林属雨林中的独特类型，根据野外样地的记录显示，青皮林是单优林，顶极群落最高青皮树为 21 m^[13]；而根据 Arnold Newman 1990 年的报告^[14]，热带雨林的树高可达 60 m，在沙撈越，树的最高记录为 84 m，另外，青皮林的垂直结构只能分为 3 层，而不是普通混合雨林的 5 层；青皮林 LAI 主要来自乔木层的叶片，其贡献率为 92%；青皮林周边的灌木 LAI 为 1.808；槟榔林为人工林，LAI 最低 1.664。

通过冠层数字成像技术测定 LAI 优势是明显的：快速、不对植物造成伤害、不需大量人工，尤其对高大树林的野外检测有很强的实用性，此外，这种方法可以实行连续测定，在选定取样点的情况下，可以对季节性变化显著的群落 LAI 实行不同阶段的测定。

野外测定获取图像时，要仔细选取群落样地和测试点，样地物种的分布需均质，测试点上方避免遮挡物，对针叶林的测定要考虑误差；避免强光操作，强光反射折射会造成数字像素的误读，计算结果就低于实际值，可以通过设定消除这种影响；对图像进行计算时，阈值的正确设置很关键，范围为 1%~100% 之间，不同群落和测定时刻的阈值各不相同，要以刚好覆盖全部叶片为准。

表 1 不同高度青皮林及周围主要群落的 LAI 及相关指数

Tah 1 LAI and relative indexes of *Vatica hainanensis* forest with various height and communities around

群落	槟榔林	灌木	芒果林	椰子林	青皮(3 m 高)	青皮(6 m 高)	青皮(9 m 高)	青皮乔木	青皮林
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
叶片分布 LD	0.68	0.77	0.86	0.81	0.90	0.93	0.94	0.96	0.97
直射系数 TR	0.22	0.17	0.12	0.27	0.16	0.10	0.10	0.06	0.04
散射系数 TD	0.31	0.24	0.12	0.22	0.13	0.09	0.08	0.05	0.04
消光系数 K	0.97	0.84	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
LAI	1.664	1.808	2.233	2.081	2.073	2.734	3.177	3.261	3.554

参考文献：

[1] PATAKAS A, NOITSAKIS B. An indirect method of estimating leaf area index in cordon trained spur pruned grapevine[J] . Scientia Horticulturae, 1999, 80: 299—305.

[2] WELLES J M. Some indirect methods of estimating canopy structure //NOEL N S, NORMAN J M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions[M] . London: Harwood, 1985.

[3] BONHOMME R, CHARTIER P. The interpretation and automatic measurement of hemispherical photographs to obtain sunlight foliage area and gap frequency[J] . Israel J Agric Res, 1972, 22: 53—61.

[4] HU Y J. The dipterocarp forest of Hainan Island, China[J] . J Tropical Forest Science, 1997. 9(4) : 477—498.

[5] MOLLES C M. Ecology: concepts and application[M] . New York: McGraw-Hill, 1999.

[6] 胡玉佳, 李玉杏. 海南岛热带雨林[M] . 广州: 广东高等教育出版社, 1992.

[7] 胡玉佳, 汪永华, 丁小球, 等. 海南岛五指山不同坡向的植物物种多样性比较[J] . 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(2) : 86—89.

[8] Van GARDINGEN P R, JACKSON G E. Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography[J] . Agricultural and Forest Meteorology, 1999, 94: 243—257.

[9] MONTEITH J L, UNSWORTH M H. Principles of

environmental physics [M] . 2nd ed. London: Edward Arnold, 1990.

[10] CAMPBELL G S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination distribution[J] . Agric For Meteorol, 1986, 36: 317—321.

[11] NORMAN J M, CAMPBELL G S. Canopy structure: field methods and instrumentation [J] . Plant Physiological Ecology, 1989, 91: 301—325.

[12] BARBOUR L W, SUTER W. Terrestrial plant ecology[M] . New York: Menlo Park C A The Benjamin Cummings Publishing Company Inc, 1980.

[13] 颜文洪, 胡玉佳. 海南石梅湾青皮林最小取样面积与物种多样性研究[J] . 生物多样性, 2004, 12(2) : 245—251.

[14] Arnold Newman. Tropical Rainforest: a world survey of our most valuable and endangeredhabitat with a bluepoint for its survival[M] . New York: Facts On File Inc, 1990.

Measurement of LAI of *Vatica* Forest by Indirect Method
——Imaging Digital Canopy in Shimei Bay, Hainan Island

YAN Wen hong, HU Yu jia

(School of Life Sciences, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The indirect method—Imaging Digital Canopy, based on ‘ gap fraction’ process, was described. By study in various communities about 9 measuring spots, it showed characteristics of community such as LAI, radiation transmission coefficient, extinction coefficient. LAI of *Vatica* forest was measured according to vertical height of community in different developing stages. The technique to minimize error about the Digital Plant Canopy Imager CI110 was mentioned and analyzed. For comparison, LAI of other communities around the *Vatica* forest were also detected. It showed that the LAI index of *Vatica* forest is 3. 554. And it was discussed that LAI of *Vatica* forest was lower than that of other typical rainforest.

Key words: LAI (leaf area index); *Vatica* forest; canopy digital image; Shimei Bay